

ФІНАНСИ І КРЕДИТ

УДК 338.5

JEL Classification: Q41, Q48

DOI: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2024.11\(44\).221-227](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2024.11(44).221-227)

О.О. Головченко, доц., канд. екон. наук

А.С. Музиченко, проф., д-р екон. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Н.Ю. Головченко, доц., канд. екон. наук

*Консалтингова компанія «МАК-ЦІНИ», м. Київ, Україна***Управління цінами енергоресурсів через системи їх ефективного накопичення та зберігання**

У статті різнобічно розглянуте питання впливу систем накопичення та зберігання енергетичних ресурсів на ціноутворення відповідних ринків. Системно розглянуті публікації експертного середовища, присвячені технічним аспектам накопичення та зберігання енергії, законодавчого регулювання цієї діяльності на вітчизняному ринку. Наголошено на недостатньому розкритті питання впливу систем накопичення та зберігання енергії на ринкові ціни відповідних ресурсів.

Встановлено, що ринкові ціни на енергетичні ресурси мають значну волатильність, яка системно залежить від певних циклів генерації та споживання такої енергії. Як наслідок, згідно загальноекономічних законів ціни на енергоресурси значно зростають у періоди підвищення попиту та стрімко падають, дуже часто нижче собівартості їх виробництва, у періоди зниженого попиту. Зазначена закономірність показана на прикладах вітчизняних та Європейських енергетичних ринків. У публікації на прикладі конкретного торгового дня показана структура продажу енергоресурсів на ринку «на добу наперед» по відношенню до середньозваженої ціни. Встановлено, що переважна більшість годин торгівлі, як і більша частина енергоресурсу у фізичному вимірі, продається за ціною нижче за середньозважену. На графіках продемонстровані фактичні спреди у цінах продажу по відношенню до оптимальної ціни. На підставі аналізу спредів фактичних цін по відношенню до середньозважених, зроблений висновок про доцільність використання систем накопичення та зберігання енергії, як інструменту цінового регулювання ринку.

Наведені розрахунки та приклади позитивного впливу систем накопичення та зберігання енергії на ціни продавців (генерації) та ціни покупців (споживачів). Окремо сформульований позитивний вплив систем накопичення та зберігання енергії для виробників відновлювальної енергії. Акцентована увага на необхідності інтеграції надавачів послуг з накопичення та зберігання енергії у інформаційні платформи відповідних ринків з метою обміну даними про доступність вільних місткостей та наявності накопиченого ресурсу.

енергоресурси, накопичення, зберігання, ринкові ціни, середньозважена ціна, спред, волатильність

Постановка проблеми. Ціни на енергетичні ресурси традиційно вважаються досить волатильними. Це досить чітко пояснюється загальними принципами економіки, коли підвищення попиту на певний енергетичний ресурс в певний час, за умови незмінності (або обмеженості) пропозиції, призводить до зростання цін. Зазначену волатильність на європейському ринку можна легко відслідкувати за даними Європейської енергетичної біржі як на короткострокових (спотових) продуктах [10], так і на довгострокових (ф'ючерсних) продуктах [9; 11]. Аналогічні коливання цін мають місце і на українському ринку енергетичних ресурсів, який вже певний час повністю інтегрований у європейське енергетичне середовище.

Говорячи про коливання попиту на енергоресурси, можна вести мову як про сезонні коливання (наприклад, зростання споживання природного газу у зимовий період), так і про більш короткі за терміном коливання (наприклад, годинні сплески попиту на електричну енергію у ранішні та вечірні години).

Очевидно, що виробництво (генерація) енергетичних ресурсів, розраховане з урахуванням максимального попиту, буде означати певний профіцит виробництва у періоди недоспоживання. І навпаки, при орієнтації виробництва на мінімальне споживання (аби гарантовано продати вироблену енергію) завжди матимуть місце періоди дефіциту енергоресурсів у які ціни стрімко зростатимуть.

Відтак виробникам енергетичних ресурсів треба шукати оптимальне значення у виробництві (генерації) енергії, а споживачам енергоресурсів підлаштовуватись під сезонні (годинні) коливання цін на енергоресурси. Або, як краще, на наш погляд, альтернативу, необхідно розвивати системи накопичення енергії, які дозволять зберігати енергію недоспожиту у періоди низького попиту та реалізовувати у ринок – у періоди підвищеного попиту на неї. Дослідження потенційного впливу систем зберігання енергії на ринкові ціни енергоресурсів є одним із важливих завдань вітчизняного енергоринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання накопичення та зберігання енергоресурсів постійно дискутуються у вітчизняному та світовому експертному середовищі. Деякі дискусії мають як суто технологічний характер [1, 8], деякі концентруються на розкритті законодавчого регулювання проблеми, що розглядається [2; 6; 7], окремі публікації містять аналіз впливу таких систем на відповідні енергетичні ринки [5; 12; 13].

Слід відзначити, що економічний аспект розповсюдження систем зберігання енергії у даних публікаціях розкривається, в першу чергу, з точки зору інвестиційної привабливості (окупності) таких проектів. З іншої сторони, питання впливу систем накопичення на ринкові ціни енергоресурсів розкриті, на нашу думку, недостатньо та потребують більш детального розкриття.

Постановка завдання. Завданням цієї статті є розкриття впливу систем накопичення та зберігання енергоресурсів на ринкові ціни таких ресурсів. Також окрему увагу буде присвячено інтеграції суб'єктів зберігання енергетичних ресурсів з ринковою інфраструктурою вітчизняних енергоринків.

Виклад основного матеріалу. Розгляд ключового питання цієї статті пропонуємо розпочати з визначення ступеня волатильності вітчизняного енергетичного ринку, про яку було зазначено при постановці піднятої проблеми. Реальну волатильність вітчизняних енергоринків пропонуємо розглянути на прикладі ринку електричної енергії, адже попит та пропозиція даного ресурсу змінюється щогодинно. Згідно Закону про ринок електроенергії погодинний принцип балансування ринку електроенергії передбачає необхідність зіставлення попиту та пропозиції, а також відповідні балансувальні дії оператора системи по викупу профіцитів (коли пропозиція перевищує попит) та продажу дефіцитів (у зворотній ситуації) [3].

Для наочного прикладу волатильності цін на електричну енергію пропонуємо взяти дані за 1 день торгів (01.03.2024) на вітчизняному ринку «на добу наперед» і представимо це у вигляді таблиці 1.

Як видно з наведеної таблиці ціна продажу електроенергії в найдешевшій годині (04.00-05.00) склала лише 455 грн. за 1 МВт, а ціна продажу в найдорожчі години (19.00-21.00) складала 7500 грн. за 1 МВт. Таким чином, коливання ціни на електричну енергію в окремі години доби, що досліджується, відбувалось в діапазоні 455-7500 грн., що складає 16,5 разів. Зазначене коливання в експертному середовищі прийнято називати добовою волатильністю.

Таблиця 1 – Результати торгів на ринку «на добу наперед» (РДН) за 01.03.2024

Година	Ціна, грн./МВт.год.	Обсяг купівлі-продажу, МВт.год.
01:00	3 000,00	2 795,6
02:00	2 600,00	2 641,7
03:00	1 850,00	2 456,4
04:00	455,00	2 390,3
05:00	1 850,00	2 467,9
06:00	1 850,00	2 435,7
07:00	3 500,00	2 627,1
08:00	2 150,00	2 895,7
09:00	3 100,00	3 226,0
10:00	3 090,00	3 221,7
11:00	3 100,00	3 165,9
12:00	1 780,00	3 090,1
13:00	980,00	2 988,5
14:00	2 350,00	2 996,4
15:00	3 100,00	3 141,6
16:00	1 850,00	3 346,7
17:00	6 500,00	3 501,9
18:00	7 100,00	3 556,7
19:00	7 500,00	3 656,2
20:00	7 500,00	3 669,7
21:00	7 394,74	3 605,7
22:00	6 900,00	3 353,7
23:00	3 000,00	3 174,6
24:00	3 000,00	2 985,9

Джерело: складено на основі [4]

Окремо слід звернути увагу не те, що середньозважена ціна продажу у досліджуваній добі склала 3785 грн. Аналіз середньозваженої ціни продажу показує, що:

- у досліджуваній добі 18 годин електрична енергія торгувалась за ціною нижче середньозваженої, а 6 годин – за ціною вище середньозваженої (75/25%);
- обсяги продажу по цінах нижче і вище середньозважених розподілились у співвідношенні 71/29%.

Наочно розподіл обсягів купівлі продажу відносно середньозваженої ціни наведений на рис. 1. Як видно з наведених діаграм, періоди часу, коли енергетичні ресурси продаються на ринку «на добу наперед» за ціною нижче середньозваженої є втричі тривалішими. Крім того, обсяги енергії, які продаються з дисконтом відносно середньозваженої вартості, також є більшими за обсяги енергії, які продаються з додатковою націнкою.

Розглянемо дану ситуацію зі сторони виробників енергетичних ресурсів (генерації). Візьмемо середньозважену ціну нашого умовного прикладу (3785 грн. за 1 МВт) як оптимальну (еталонну) ціну продажу електроенергії у досліджуваній добі.

Дана еталонна ціна повністю компенсує витрати на виробництво енергії у відповідній добі і дозволяє виробникам отримувати певний плановий розмір прибутку. Відповідно продаючи в певні години ресурс дешевше оптимальної ціни, виробник робить певний дисконт або навпаки, продаючи дорожче в окремі години, отримує додаткову націнку. Узагальнено такі відхилення можна назвати терміном «спред».

На рис. 2 позначено спред для декількох годин торгівлі (04:00; 13:00 та 18:00). Як видно на наведеному графіку (рис. 2) оптимальним для виробників в ці години був би продаж за середньозваженою ціною (3785 грн.). Проте, наприклад, о 04:00 годині по причині відсутності попиту дана енергія була продана з дисконтом в 3330 грн. або фактично за 12% її оптимальної ціни. О 18:00 годині спостерігаємо зворотну ситуацію, коли на ринку спостерігався дефіцит, електрична енергія була продана з націнкою 3315 грн., що на 88% краще за оптимальну ціну. Слід зазначити, що залежно від доби продажу кількість годин з дисконтом або націнкою, а також розміри спредів можуть суттєво відрізнятись.



Рисунок 1 – Розподіл обсягів продажу на ринку «на добу наперед» відносно середньозваженої ціни (за 01.03.2024)

Джерело: розроблено авторами на основі [4]

На нашу думку, важливим інструментом впливу на вартість енергоресурсів є системи їх накопичення та зберігання. Наприклад, у періоди низьких цін на енергоресурси компанії-оператори систем накопичення можуть виходити на ринок і викуповувати ресурс, що продається з дисконтом, для його накопичення, зберігання та подальшого продажу у періоди підвищеного попиту та позитивного спреду по відношенню до середньозваженої (оптимальної) ціни.

Технічні та регуляторні нюанси діяльності з накопичення та зберігання енергії у даній статті не розглядаються. Даним питанням приділено достатньо багато уваги у публікаціях, які були згадані в аналізі останніх досліджень та публікацій. Що стосується економічного впливу операторів зберігання енергії, вони, на наш погляд, будуть наступними:

- створення операторами систем зберігання додаткового попиту на енергоресурси у періоди низьких цін (найбільших від'ємних спредів) призведе до зростання ціни продажу, що є прямою зацікавленістю виробників енергоресурсів;
- вихід на ринок операторів систем зберігання у періоди максимального попиту

на енергоресурси (найбільших позитивних спредів) з додатковим ресурсом призведе до зниження цін продажу, що є прямим інтересом покупців (споживачів) енергоресурсів.

Як наслідок, становлення та розвитку діяльності з накопичення та зберігання енергоресурсів, їх максимальної інтеграції у відповідні ринки матимуть місце наступні економічні процеси:

- звужуватимуться (зменшуватимуться у абсолютному відхиленні порівняно з існуючими) спреди між цінами купівлі-продажу енергоресурсів та їх середньозваженою вартістю;
- знижуватиметься середньозважена вартість енергоресурсів в цілому.

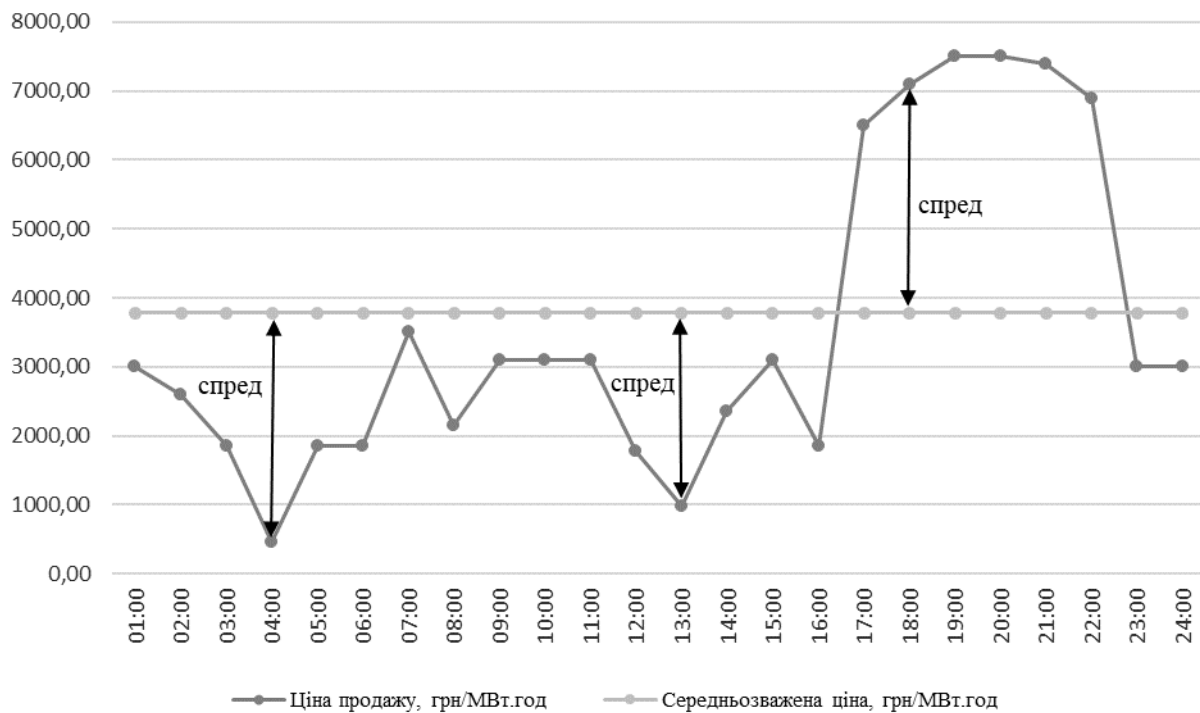


Рисунок 2 – Годинні спреди ціни продажу та середньозваженої ціни (за 01.03.2024)

Джерело: розроблено авторами на основі [4]

Наприклад, зростання в нашому прикладі цін продажу у 18 «дисконтних» годин на 20% та зниження цін продажу у 6 «надприбуткових» годин на 20% дає зниження середньозваженої ціни продажу до 3709 грн. або на 2,5%. Очевидно, що зниження середньозваженої вартості енергоресурсів позитивно відзначатиметься на собівартості виробництва споживачів енергоресурсів, особливо тих з них, у яких енергетична складова має значну питому вагу. Так само позитивно це позначиться на прогнозованості бізнесу з виробництва електричної енергії, в першу чергу, з відновлювальних джерел.

Висновки та перспективи подальших досліджень. З огляду на результати проведеного дослідження загальний тренд на будівництво систем накопичення та зберігання енергетичних ресурсів та їх інтеграцію з діючими енергетичними ринками з технологічною метою, стає ще більш очевидним у економічному сенсі.

Наведені розрахунки та узагальнення дають можливість стверджувати про особливу актуальність піднятого питання для виробників відновлювальної енергії, графік виробництва яких дуже часто залежить від періоду доби, періоду року, погодних умов тощо. Позитивний вплив систем накопичення та зберігання енергії дозволить

виробникам відновлювальної енергії продавати вироблені енергоресурси з меншим дисконтом відносно оптимальних цін.

Важливим, на наш погляд, напрямком подальших досліджень, є розробка оптимальних інформаційних систем здатних забезпечити прогнозування найкращих спредів у купівлі-продажу ресурсів операторами систем накопичення та зберігання енергоресурсів, а також їх інтеграцію з відповідними ринковими платформами. Зазначені розробки, поряд з державною підтримкою такого важливого сегменту ринку, допоможуть створити необхідний інвестиційний клімат для інтенсивної розбудови досліджуваних систем. Загальним наслідком таких змін буде зниження середньозважених цін енергоресурсів, що споживаються на відповідних енергетичних ринках.

Список літератури

1. Колісник М. Як технології накопичення енергії трансформують глобальний енергоринок. *Економічна правда*. 2023. 16 жовтня. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/10/16/705525/> (дата звернення: 01.03.2024).
2. Панельна дискусія. Установки зберігання енергії в енергосистемі України. Стан та перспективи розвитку. *Global Compact*. 2024. 29 лютого. URL: <https://globalcompact.org.ua/news/установки-зберігання-енергії-в-енерг-2/> (дата звернення: 01.03.2024).
3. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII: станом на 08 берез. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 01.03.2024).
4. Результати торгів РДН. *Оператор ринку електричної енергії*. 2024. 01 березня. URL: https://www.oree.com.ua/index.php/control/results_mo/DAM (дата звернення: 01.03.2024).
5. Шведська Ingrid Capacity готова розвивати energy storage в Україні – «Укренерго». *InterFax-Україна*. 2023. 14 листопада. URL: <https://interfax.com.ua/news/economic/947548.html> (дата звернення: 01.03.2024).
6. WHITE PAPER: «Установки зберігання енергії в енергосистемі України. Стан та перспективи розвитку». *ExPro*. 2024. 29 лютого. URL: <https://expro.com.ua/statti/white-paper-ustanovki-zbergannya-energ-v-energosistem-ukrani-stan-ta-perspektivi-rozvitku> (дата звернення: 01.03.2024).
7. Commission Recommendation of 14 March 2023 on Energy Storage – Underpinning a decarbonised and secure EU energy system 2023/C 103/01. 2023. March 14. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023H0320%2801%29&qid=1679302898964> (дата звернення: 01.03.2024).
8. Hydropower Special Market Report. *IEA*. URL: <https://www.iea.org/reports/hydropower-special-market-report/executive-summary> (дата звернення: 01.05.2024).
9. Natural gas market data. EEX Natural gas Futures. URL: <https://www.eex.com/en/market-data/natural-gas/futures> (дата звернення: 01.03.2024).
10. Natural gas market data. EEX Natural gas Spot. URL: <https://www.eex.com/en/market-data/natural-gas/spot> (дата звернення: 01.03.2024).
11. Power market data. EEX Power Futures. URL: <https://www.eex.com/en/market-data/power/futures> (дата звернення: 01.03.2024).
12. Top 10 Energy Storage Trends in 2023. *BloombergNEF*. 2023. January 11. URL: <https://about.bnef.com/blog/top-10-energy-storage-trends-in-2023/> (дата звернення: 01.03.2024).
13. Volatility is volatile: Battery storage revenues discussed at RER 2024. *Energy Storage News*. 2024. May 30. URL: <https://www.energy-storage.news/volatility-is-volatile-battery-storage-revenues-discussed-at-rer-2024/> (дата звернення: 01.03.2024).

References

1. Kolisnyk M. (2023) How energy storage technologies are transforming the global energy market. *Ekonomichna pravda*. <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/10/16/705525/> [in Ukrainian].
2. Panel discussion. Energy storage facilities in the energy system of Ukraine. State and prospects of development. *Global Compact*. <https://globalcompact.org.ua/news/установки-зберігання-енергії-в-енерг-2/> [in Ukrainian].
3. On electric energy market: Law of Ukraine. (2024, March 08) № 2019-VIII (2017, April 13). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>
4. Results of DAM auctions. (2024, May 31) *Electric energy market operator*.

- https://www.oree.com.ua/index.php/control/results_mo/DAM [in Ukrainian].
5. Sweden's Ingrid Capacity is ready to develop energy storage in Ukraine - "Ukrenergo". *InterFax-Ukraine*. <https://interfax.com.ua/news/economic/947548.html> [in Ukrainian].
 6. WHITE PAPER: "Energy storage facilities in the energy system of Ukraine. State and prospects of the rootstock". *ExPro*. <https://expro.com.ua/statti/white-paper-ustanovki-zbergannya-energ-v-energosistem-ukrani-stan-ta-perspektivi-rozvitku> [in Ukrainian].
 7. Commission Recommendation of 14 March 2023 on Energy Storage – Underpinning a decarbonised and secure EU energy system 2023/C 103/01. (2023, March 14). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023H0320%2801%29&qid=1679302898964> [in English].
 8. Europe passes Net-Zero Industry Act amidst mixed fortunes for local battery gigafactories. *Energy Storage News*. (2024, May 30). <https://www.energy-storage.news/europe-passes-net-zero-industry-act-amidst-mixed-fortunes-for-local-battery-gigafactories> [in English].
 9. Hydropower Special Market Report. *IEA*. <https://www.iea.org/reports/hydropower-special-market-report/executive-summary>
 10. Natural gas market data. EEX Natural gas Futures. <https://www.eex.com/en/market-data/natural-gas/futures>
 11. Natural gas market data. EEX Natural gas Spot. <https://www.eex.com/en/market-data/natural-gas/spot>
 12. Power market data. EEX Power Futures. <https://www.eex.com/en/market-data/power/futures>
 13. Top 10 Energy Storage Trends in 2023. *BloombergNEF*. (2023, January 11). <https://about.bnef.com/blog/top-10-energy-storage-trends-in-2023> [in English].
 14. Volatility is volatile: Battery storage revenues discussed at RER 2024. *Energy Storage News*. (2024, May 30). <https://www.energy-storage.news/volatility-is-volatile-battery-storage-revenues-discussed-at-rer-2024> [in English].

Oleksandr Holovchenko, Associate Professor, PhD in Economics (Candidate of Economic Sciences)

Anatolii Muzychenko, Professor, Doctor in Economics (Doctor of Economic Sciences)

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Nataliia Holovchenko, Associate Professor, PhD in Economics (Candidate of Economic Sciences)

Consulting company "MAC-PRICE", Kyiv, Ukraine

Price Management of Energy Resources by Using Systems of Their Efficient Accumulation and Storage

In the article, the issue of the influence of systems of accumulation and storage of energy resources on the pricing of the relevant markets is considered in various ways. The publications of the expert environment, devoted to the technical aspects of energy accumulation and storage, legislative regulation of this activity on the domestic market, were systematically reviewed. The insufficient disclosure of the impact of energy storage and energy storage systems on the market prices of the relevant resources is emphasized.

It has been established that market prices for energy resources have significant volatility, which systematically depends on certain cycles of generation and consumption of such energy. As a result, according to general economic laws, prices for energy resources rise significantly in periods of increased demand and fall sharply, very often below the cost of their production, in periods of reduced demand. The specified regularity is shown on the examples of domestic and European energy markets. The article shows the structure of the sale of energy resources on the day-ahead market in relation to the average price on the example of a specific trading day. It was established that the vast majority of trading hours, as well as most of the energy resource in the physical dimension, are sold at a price lower than the average. The graphs show the actual spreads in selling prices relative to the optimal price. Based on the analysis of spreads of actual prices in relation to the weighted average, a conclusion was made about the expediency of using systems of energy accumulation and storage as a tool for price regulation of the market.

Calculations and examples of the positive impact of energy accumulation and storage systems on the prices of sellers (generation) and prices of buyers (consumers) are given. The positive impact of energy accumulation and storage systems for producers of renewable energy is separately formulated. Attention is focused on the need to integrate energy storage and energy storage service providers into the information platforms of the relevant markets in order to exchange data on the availability of free capacities and the availability of the accumulated resource.

energy resources, accumulation, storage, market prices, weighted average price, spread, volatility

Одержано (Received) 02.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 16.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 27.05.2024